

农户型“猪-沼-石榴”循环农业模式 能值及经济效益

孙路^{1,2}, 韩霁昌¹, 吴发启²

(1. 陕西省土地工程建设集团, 陕西 西安 710075; 2. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 以农户型“猪-沼-石榴”循环农业模式(模式 I)作为切入点, 将单一石榴种植模式(模式 II)和单一生猪养殖(模式 III)作为参考, 运用能值理论和方法对三种模式的结构、能值流特征、综合效益进行定量分析。结果表明: 三种模式中, 模式 I 能值产投比(OIR)8.49, 高于模式 III, 低于模式 II; 能值反馈率(EFR)最低 0.010; 环境负载率(ELR)最低, 分别降低了 1.647、0.530; 能值废弃率(EWR)最低, 降低了 14.4%; 系统可持续发展性能(EISD)最高, 分别增加了 9.823、8.830; 对比单一农业模式, 模式 I 各子系统经济产投比在不同程度上都有所增加。综上说明该模式具有资源利用率高、低排放、环境压力小、富有活力和可持续发展潜力, 生态经济综合效益佳等优势, 可将农村地区生活方式由资源浪费型转变为清洁节约型。

关键词: 农户型循环农业; 能值分析; 经济效益

中图分类号: S181 文献标志码: A

Emergy and benefit evaluation of “pig – methane – pomegranate” recycling agriculture in Guanzhong Plain

SUN Lu^{1,2}, HAN Ji-chang¹, WU Fa-qi²

(1. Shaanxi Land Construction Group, Xi'an, Shaanxi 710075, China;

2. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: To explore the advantage of “pig – methane – pomegranate (PMP)” recycling agriculture mode, we analyzed the emergy flow characteristics, structure and comprehensive benefits of three modes of PMP using the single pomegranate planting mode (mode II) and single pig breeding (mode III) as references. The results show that output-input ratio of model I was 8.49, higher than that of mode III while next to mode II. Emergy feedback ratio of model I was the minimum value of 0.010. The Environmental loading ratio of model I was the lowest, decreased by 1.647 and 0.530 compared with mode II and mode III, respectively. Emergy waste ratio of model I was the lowest among the three modes. Emergy index for sustainable development of model I had the best performance, increased by 9.823 and 8.830, respectively. Compared to the single agricultural mode, economic input-output ratio of all subsystems of model I increased at various degrees. In summary, model I had the high resource-using rate, low emission, low environment pressure, high sustainable development potential, high ecological and economic benefits.

Keywords: farmers type recycling agriculture; emergy analysis; economic benefit

改革开放以来, 中国不断增长的人口和有限的耕地资源矛盾愈演愈烈, 加之人们对农业资源不科学利用, 亘古不变的传统种植方式, 导致农业中出现“高投入、高污染、低产出”现象^[1]。如何有效地提高和保障农业的可持续生产? 新一届中国政府为我国农业发展明确了方向“注重永续发展, 转变农业发展

方式, 发展循环农业”。所谓“循环农业”, 是以生态经济原理为基础, 以“减量化、再利用、资源化”为原则, 通过系统设计和和管理, 实现物质能量资源的多层次、多级化的循环利用的现代农业生产模式^[2]。循环农业的三大原则顺应了农业的可持续发展要求, 得到了全世界各界学者的认同, 并在世界各地蓬勃

发展。能值分析理论和方法是美国著名系统生态学家奥德姆(H. T. Odum)在 20 世纪 80 年代提出的,以能值为单位,把不同种类、不同单位、不同属性、不可比较的流动的或固定的能量或物质换算成同一标准的能值进行定量分析和比较研究^[3-4], Jorge 等^[5]认为能值分析可对自然环境生产与人类经济活动进行统一评价,对循环农业模式的结构、功能与生态经济效益可进行定量分析。

目前,以沼气为纽带的循环农业模式可分为规模化 and 散户型两大类。钟珍梅等^[6]学者对规模化循环农业模式进行了系统的可持续性分析研究。“猪-沼-果”循环农业模式是典型的以户为单位,依托大田、庭院,以养殖业为主,以沼气建设作为纽带,将种、养、加工产业结合起来的综合性生产模式。周昱^[7]等学者通过对江西省赣州市户用“猪-沼-果”生态模式进行经济评价,指出“猪-沼-果”模式具有强的盈利能力和抗风险能力。修金生^[8]等学者对福建省“猪-沼-果”生态养殖模式进行研究,指出“猪-沼-果”生态养殖模式是一种低碳、环保、循环利用的生态农业模式,符合养殖模式发展的时代要求。迄今为止,对“猪-沼-果”农户型的研究大多数集中于基本理论和模式的经济效益评价方面,但对农户型循环农业模式的可持续研究甚少^[9]。本文以关中平原中部的临潼区实施的“猪-沼-石榴”为例,将能值分析方法应用到农户型循环农业系统的研究中,从生态、社会、经济、可持续发展角度下定量分析该模式的各项能值指标以及能值流特征,为该模式的进一步优化提供理论依据,对模式推广具有现实的指导意义。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于关中平原中部的临潼区,介于 E109°05' ~ 109°27', N34°16' ~ 34°44' 之间,该区总面积 915 km²,其中耕地面积 52 000 hm²,石榴种植面积高于 8 000 hm²,主要分布于骊山北麓华清池两侧和秦始皇陵一带,该区是全国最大的石榴生产基地,年产石榴约 10 万 t。研究区域属暖温带半湿润大陆性季风气候,年平均气温 13.5℃,无霜期 219 d,年降雨量 591.8 mm。年日照时数 2 052.7 h,年总辐射量 4.7 × 10⁶ kJ·m⁻²·a⁻¹,土壤以瘠土和黄土性土为主,主产优质小麦和玉米,是国家重点粮食生产基地。临潼区目前拥有 5 000 多口沼气池、30 万头生猪养殖基地,优质石榴种植面积 8 000 hm²,为“生猪养殖-沼气工程-石榴种植”循环农业模式的发展提供

了广阔的平台。本研究以农户型“猪-沼-石榴”循环农业模式为研究对象,为简化描述,以下称为模式 I,分别以单一石榴种植模式(简称模式 II)和单一生猪养殖(简称模式 III)为参照,应用能值分析理论和方法对 3 种农业生产模式进行对比分析研究。

1.2 研究方法

1.2.1 样点选择 在临潼区以石榴种植为主的斜口街道办和仁宗街道办,随机选取 10 户“猪-沼-石榴”循环农业模式、30 户单一生猪养殖模式和 30 户单一石榴种植模式作为调查户,自 2012 年 6 月 13 日至 2013 年 6 月 8 日每月 1~3 日,定期逐户进行实地监测与调查。

1.2.2 监测与调查内容

(1) 监测:监测是为了获得不同模式中各物质的实际投入与产出量数据。内容主要包括:化肥、农药、机械、电力等无机能的投入量;猪饲料、苗木、有机肥、人工等有机能投入量;生猪、石榴、沼渣、沼液等的产出量。

(2) 调查:调查是在监测的基础上进一步完善数据。内容主要包括当地的气象及地理资料、人口数、畜禽数、各种建设费用以及各种投入量的成分含量等。

1.2.3 能值分析方法 本研究所用原始数据处理方法,以 10 户“猪-沼-石榴”循环农业模式为例进行说明,具体方法为:将 10 户调查所得的某项投入与产出数据利用 excel 软件进行求和平均,然后将得到的平均值换算到单位面积上(m²),从而得到该模式某项的投入与产出基础数据。参考骆世明^[10]及相关能流分析研究新成果中的能量折算系数^[11,14],将基础数据换算为该研究的原始数据。最后借助蓝盛芳^[15]等研究成果中的太阳能值转换率(本文采用 9.26 × 10²⁴ sej·a⁻¹全球能值基准值)以及能值/货币比率计算出系统中各种投入、产出及反馈的能值。本研究的分析数据为不同模式各自生产数据的平均值(单位:m²)。

① 自然资源能值计算公式^[7]:

太阳光能能值 = 面积 × 太阳光平均辐射量 × 太阳能值转换率 (1)

雨水化学能能值 = 面积 × 平均降雨量 × 吉布斯自由能 × 太阳能值转换率 (2)

地球转动能能值 = 能值面积 × 热通量 × 太阳能值转换率 (3)

风能能值 = 高度 × 密度 × 涡流扩散系数 × 风速梯度 × 面积 × 太阳能值转换率 (4)

雨水势能能值 = 面积 × 平均海拔高度 × 平均降

雨量 × 密度 × 重力加速度 × 太阳能值转换率 (5)

表土层净损失能值 = (面积 × 表土侵蚀速率 - 植被演替面积 × 表土形成速率) × 太阳能值转换率 (6)

2 结果与分析

模式 I 由石榴种植子系统、养殖子系统和沼气工程子系统组成,是以沼气工程子系统为核心,将养殖子系统所产生的废弃物能值经过厌氧发酵转化成沼肥和沼气能值,这些能值供石榴种植子系统的生产,实现了物质能量的多级循环利用(见图 1)。该模式能值的流转环节多,物质的能值被更充分地利用,具有较好的生态经济效益。

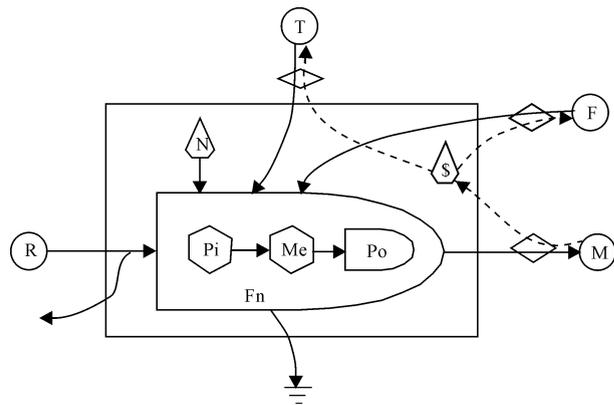


图 1 “猪-沼-石榴”循环模式系统能值

Fig.1 Energy analysis of “pig - methane - pomegranate” recycling model

注: F—不可更新工业辅助能; Fn—系统反馈能值; M—市场; Me—沼; N—不可更新自然资源; Pi—猪; Po—石榴; R—可更新自然资源; T—可更新有机能

Note: F—nonrenewable industrial auxiliary energy; Fn—feedback energy; M—market; Me—methane; N—nonrenewable natural resources; Pi—pig; Po—pomegranate; R—renewable natural resources; T—original energy

2.1 典型模式 I 与 II 的产投比特征分析

三种生产模式的能值投入与产出数据见表 1。模式 II 总投入中自然资源、不可更新工业辅助能、可更新有机能分别占 5.14%、62.78%、32.08%。不可更新工业辅助能中氮肥、磷肥、钾肥、农药、叶面肥、塑料袋、机械及柴油、灌溉水分别占 47.98%、38.42%、3.22%、3.87%、1.33%、0.98%、2.7%、1.5%,表明模式 II 中以化肥与农药的投入为主;可更新有机能投入中人工投入占 0.43%,说明模式 II 人力投入比例小。

模式 I 石榴种植子系统总投入中,不可更新工业辅助能中氮肥、磷肥、钾肥、农药、叶面肥、塑料袋、

机械及柴油、灌溉水分别占 45.02%、34.03%、2.40%、6.91%、2.37%、1.78%、4.82%、2.67%,可更新有机能中人工投入占 1.85%,对比模式 II 可知,模式 I 中化肥的投入比例少 7.12%,但人工投入多 1.42%,这是因为沼肥的施用代替了部分化肥,从而降低了化肥投入,增加了人工投入。

模式 I 的石榴种植子系统、模式 II 能值产出分别为 $2.45 \times 10^{13} \text{ sej} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 、 $2.35 \times 10^{13} \text{ sej} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,前者比后者多产出 $1 \times 10^{12} \text{ sej} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,综上所述,模式 I 的石榴种植子系统比模式 II 投入少,产出高。

2.2 典型模式 I 与 III 的产投比特征分析

对比模式 I,模式 III 中因猪圈面积相对很小,自然资源能投入仅为 $5 \times 10^{10} \text{ sej} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,而模式 I 中有 $6.24 \times 10^{10} \text{ sej} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 的自然资源能投入,占能值总投入的 0.11%,即模式 I 对无偿的自然资源利用率较高;模式 III 中不可更新工业辅助能和可更新有机能分别占系统能值投入的 38.5% 和 61.49%,模式 I 中不可更新工业辅助能和可更新有机能分别占系统能值投入的 8.75% 和 91.15%,出现不可更新工业辅助能与可更新有机能的差距现象是由于模式 I 中增加了种植业和沼气工程。两种模式中的可更新有机能明显比例差异表明模式 I 更有利于系统的物质循环和自我维持。除此之外,模式 I 中各个子系统之间相互供给,系统有 $6.4 \times 10^{11} \text{ sej} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 的反馈能值。

模式 I 系统的产出能值为 $5.67 \times 10^{14} \text{ sej} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,其中生猪子系统的能值产出占总产出的 97.5%,石榴种植业子系统能值产出占 3.8%,沼气工程能值产出占 2.5%,可见模式 I 是以养殖业为主,种植业和沼气工程为辅;模式 III 的产出能值为 $4.35 \times 10^{15} \text{ sej} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,其中生猪的产出占总产出的 97.5%,废弃物占 2.5%。对比分析可知,模式 I 产出中养殖子系统所占比例虽比模式 III 中的低,却无废弃物产出,这是因为模式 I 产出中还包括石榴种植业与沼气工程,产生的废弃物都被系统内部转化并吸收。相同养殖规模下,模式 I 对生态环境的破坏极小,而模式 III 每年则要向自然环境中排放 $1.09 \times 10^{14} \text{ sej} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 的废弃物,极大地污染了农村的生态环境。

由表 1 可知,模式 I 的产投比为 8.49,模式 III 为 5.75,模式 II 为 19.45,说明模式 I 的生态经济效益较高。

表 1 三种农业模式能值的投入与产出

Table 1 Energy input and output of the three agricultural models

项目 Item	太阳能值转 换率 ^[16-21] Transformity ($\times 10^4 \text{ sej} \cdot \text{unit}^{-1}$)	模式 I Model I		模式 II Model II		模式 III Model III	
		原始数据 Original data ($\times 10^9 \text{ unit} \cdot \text{a}^{-1}$)	太阳能值 Solar energy ($\times 10^{13} \text{ unit} \cdot \text{a}^{-1}$)	原始数据 Original data ($\times 10^9 \text{ unit} \cdot \text{a}^{-1}$)	太阳能值 Solar energy ($\times 10^{13} \text{ unit} \cdot \text{a}^{-1}$)	原始数据 Original data ($\times 10^9 \text{ unit} \cdot \text{a}^{-1}$)	太阳能值 Solar energy ($\times 10^{13} \text{ unit} \cdot \text{a}^{-1}$)
可更新自然资源 R Renewable natural resources							
太阳能 Solar energy	0.0001	10814.7	1.081	9400	0.940	1410	0.141
雨水化学能 Rainfall chemical energy	1.81	7.934	14.361	5.848	10.585	0.877	1.587
地球转动能 Earth's rotation energy	3.37	2.713	9.142	2.000	6.740	0.300	1.011
雨水势能 Rainfall potential energy	1.03	6.453	6.646	4.757	4.900	0.714	0.735
小计 Total			14.361		10.585		1.587
不可更新自然资源 N Nonrenewable natural resources							
表土层净损失 Surface soil net loss	7.26	0.294	2.134	0.255	1.853		
小计 Total			2.134		1.853		
不可更新工业辅助能 F Nonrenewable natural resources							
氮肥(N) Nitrogen fertilizer	626000	0.00006	38.274	0.00012	72.866		
磷肥(P ₂ O ₅) Phosphate fertilizer	643000	0.000045	28.935	0.000091	58.352		
钾肥(K ₂ O) Potash fertilizer	181000	0.00001125	2.036	0.000027	4.887		
农药(纯) Pesticides	866000	0.00000678	5.871	0.00000678	5.871		
叶面肥 Foliar/g	280000	0.0000072	2.016	0.0000072	2.016		
塑料袋 Plastic bags/g	38000	3.986×10^{-5}	1.515	3.98616×10^{-5}	1.515		
农田机械 Farming machinery	6.6	0.54	3.564	0.54	3.564		
柴油 Diesel	6.6	0.08064	0.532	0.08064	0.532		
电力 Electricity	17	0.3924	6.671			0.3924	6.671
水 Water	5.01	0.85554	4.286	0.4536	2.273	0.40194	2.014
煤(养猪煮食) Coal	129					57.967	7477.743
防疫费 Epidemic prevention fee	646000000	3.221×10^{-7}	208.072			3.221×10^{-7}	208.072
沼气池建设费 Methane tank construct fee	646000000	6.442×10^{-7}	416.143				
猪圈建设费 Sty construct fee	646000000	1.610×10^{-6}	1040.358			1.610×10^{-6}	1040.358
政府补贴 Government subsidies	646000000	6.442×10^{-7}	416.143				
小计 Total			1342.130		151.877		8734.857
可更新有机能 T Original energy							
种苗 Seedlings	6.03	2.94	17.728	2.94	17.728		
人工 Labor	38	0.80775	30.695	0.08775	3.335	0.6975	26.505
仔猪 Piglet	173	39	6747.000			39	6747.000
玉米 Maize	2.7	1350.985158	3647.660			1350.985158	3647.660
精饲料 Feed grain	6.8	341.202	2320.174			341.202	2320.174
小麦麸 Wheat bran	2.7	456.1321488	1231.557			456.1321488	1231.557
有机肥 Organic fertilizer	270			0.0015	0.405		
人粪尿 Human excreta	2.7	7.6358	20.617				
小计 Total			14015.430		21.468		13972.895
系统反馈能值 Fn Feedback energy							
沼液 Biogas slurry	2.7	23.73053994	64.072				
沼渣 Biogas residue	2.7	54.63347448	147.510				
小计 Total			147.510				
总投入 I Total energy input							
石榴 Pomegranate	182	26.96585067	4907.785	25.85155932	4704.984		
生猪 Pigs	171	743.6	127155.600			743.6	127155.600
沼气 Methane	42.5	75.20972	3196.413				
猪粪 Pig manure	2.7					348.19248	940.120
猪尿 Pig urine	2.7					859.0275	2319.374
总产出 Y Total energy output			130352.013		4704.984		130415.094

2.3 三种模式能值指标对比分析

(1) 模式 I 的能值自给率为 0.001(见表 2), 比模式 III 高 0.001, 比模式 II 低 0.05, 但均低于 0.3(国内平均水平), 说明模式 I 中无偿的资源环境投入比重很低, 但就其他两种单一模式而言, 相对较高, 更有利于商业化发展。

(2) 模式 I、模式 II、模式 III 的净能值产出率分别为 8.503、20.503 和 5.749, 且均高于 0.27(我国 1998 年农业系统的平均水平), 说明模式 I 的生产效率远超全国的平均水平, 但就其他两种单一模式而言较高, 这是因为模式 I 中, 人为施沼肥时未按土地科学的需求关系投入, 只是按照生产多少就投入多少的原则, 导致了沼肥的投入过量, 从而出现模式 I 净能值产出率居中的结果, 可见, 按照作物所需科学合理的施肥是该模式 I 更优的必然要求之一。

(3) 模式 II 能值投资率最低, 说明模式 II 经济发展程度最低, 对环境的依赖最强; 模式 III 远高于其它模式, 说明其经济发展程度最高, 但另一方面也表明, 经济投入过大, 其生产的生猪市场竞争力弱; 模式 I 的能值投资率高于种植模式, 但远低于模式 III, 说明其经济发展程度较高, 对环境的依赖程度适中, 较小的经济投入, 使其生产的生猪市场竞争力更强。

(4) 模式 II 的环境负载率最高, 为 1.743, 其次是模式 III 为 0.626, 最后是模式 I, 为 0.096, 说明模式 I 生产过程中对环境的破坏最小, 表现出显著的生态效益; 但环境负载率值越低, 另一方面又表明系

统的科技水平不高, 该模式 I 的 ELR 指数 0.096, 远低于 2000 年我国农业系统(2.8)^[22], 说明模式 I 的科技水平还有待大幅度提高。

(5) 模式 I 的能值反馈率比模式 III 和模式 II 高, 说明模式 I 系统的自组织能力强, 而模式 III 和模式 II 系统无自组织能力。

(6) 能值废弃率(Energy waste ratio): 系统废弃物能值与系统总能值投入之比, 用于反映系统废弃物给当地带来的环境压力。由表 2 知, 在不进行任何利用的条件下, 模式 III 一年中将产生 1.09×10^{14} $\text{sej} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 的猪粪尿, 占系统总产出能值的 2.5% (表 2), 而模式 I 通过增加的沼气工程将产生的猪粪尿全部发酵, 进行重复改造利用, 显著降低了对环境的污染。

(7) 由表 2 知, 模式 I 系统的可持续发展性能的能值指数为 10.427, 比模式 II、模式 III 分别高 9.823、8.830, 这是因为模式 I 充分利用了猪粪尿废弃资源, 通过沼气工程, 形成一个产气产肥, 物质循环利用的产业链, 降低了系统对外界环境的压力, 提高了系统的可持续发展能力。

三种模式系统内部的经济发展程度, 模式 III 最高、模式 I 次之、模式 II 最低, 就经济生产效率来说, 模式 II 最高、模式 I 次之、模式 III 最低; 模式 I 对环境的压力最弱、模式 III 次之、模式 II 最低; 系统自身的自组织能力模式 II 最强, 说明模式 I 的生态经济综合效益最佳。

表 2 三种模式的能值指标
Table 2 Energy indices of the three modes

能值指标 Energy index	表达式 Expression	不同模式 Different pattern		
		模式 I Model I	模式 II Model II	模式 III Mode III
能值自给率(ESR) Energy self-sufficiency rate	$(R + N)/I$	0.001	0.051	0.000
净能值产出率(EYR) Energy yield ratio	$Y/(F + T)$	8.503	20.503	5.749
能值投资率(EIR) Energy investment ratio	$(F + T)/(R + N)$	929.370	18.450	14290.240
环境负载率(ELR) Environmental loading ratio	$(F + N)/(R + T)$	0.096	1.743	0.626
能值反馈率(EFR) Energy feedback ratio	$F_n/(F + T)$	0.010	0.000	0.000
系统可持续发展性能(EISD) Emergy index for sustainable development	$EYR \times EER/ELR$	10.427	0.605	1.597
能值废弃率(EWR) Energy waste ratio	W/I	0.000	0.000	0.144

注: R —可更新自然资源; N —不可更新自然资源; T —可更新有机能; F_n —系统反馈能值; I —总投入能值; Y —总产出能值; W —系统废弃物能值; EER —能值交换率, 是系统输入能值与输出能值之比。

Note: R —renewable natural resources; N —non renewable natural resources; T —organic energy; F_n —feedback energy; I —total emergy input; Y —total emergy output; W —waste emergy; EER —the rate of emergy exchange is the ratio of total input emergy to total emergy output.

2.4 经济效益分析

将 2012—2013 年模式 II 和模式 III, 分别与模式 I 中各子系统的经济产投进行对比统计得表 3, 由

表 3 知: 2012—2013 年, 模式 III 经济产投比为 1.275, 模式 I 养殖子系统中, 由于产生的沼气抵消掉了日常天然气的消耗, 使得经济产投比增至

1.279,是模式Ⅲ的 1.003 倍;模式Ⅱ的经济产投比为 3.780,而模式Ⅰ石榴种植子系统,因产生的沼肥替代了大量的化肥,加之模式Ⅰ的劳动规模较大,吸

引了在外务工人员,减少了雇工的费用,使得其经济产投比增至 7.745,净利润每年增加 1.534 元·m⁻²。

表 3 经济产投对比

Table 3 The economic input and output indices

系统 System	经济投入 Economic input /(yuan·m ⁻²)	经济产出 Economic output /(yuan·m ⁻²)	净收入 Net income /(yuan·m ⁻²)	经济产投比 Economic input - output ratio
单一生猪养殖 Single pig - breeding	1196.805	1525.333	328.528	1.275
“猪-沼-石榴”生猪养殖子系统 Pig breeding subsystem of the “pig - methane - pomegranate” system	1192.538	1525.333	332.795	1.279
单一石榴种植 Single pomegranate planting	2.348	8.874	6.526	3.780
“猪-沼-石榴”石榴种植子系统 Pomegranate planting subsystem of the “pig - methane - pomegranate” system	1.195	9.256	8.061	7.745

注:每立方米沼气的热值约 21 MJ(CH₄60%),相当于 0.69 m³天然气的热值^[23],1 方居民用天然气按 1.98 元(2013 年)计算。

Note: the calorific value per cubic meter of methane is about 21 MJ (CH₄60%), equivalent to that of 0.69 m³ natural gas whose price was 1.98 yuan for one cubic meter(2013)。

3 结论与讨论

本文分别将单一石榴种植和单一生猪养殖作为对照,对比分析了农户型“猪-沼-石榴”循环农业模式的能值流特征和经济效益,结论如下:(1)“猪-沼-石榴”循环农业模式由三个子系统组成,能值流经环节多,更有利于系统物质的循环和自我维持,能值产投比 8.49,比模式Ⅲ高 2.75,比模式Ⅱ低 10.955。(2)“猪-沼-石榴”循环农业模式的能值反馈率为 0.010,比其它模式增加了 0.01;环境负载率最低为 0.096,远低于 2000 年我国农业系统(2.8)^[22],比其它模式分别降低了 1.647、0.530;能值废弃率最低,降低了 14.4%;系统可持续发展性能最高,分别增加了 9.823、8.830;对比单一农业模式,“猪-沼-石榴”循环模式各子系统经济产投比在不同程度上都有所增加,说明该模式具有资源利用率高、低排放、环境压力小,是一个更富有活力和可持续发展潜力更长久的模式,生态经济综合效益佳等优势,可将农村地区生活方式由资源浪费型转变为清洁节约型。(3)“猪-沼-石榴”循环农业模式的能值自给率为 0.001、净能值产出率为 8.503、能值投资率为 929.370,数值结果居中,说明该模式还有很大的优化空间,笔者认为可加大现代科技的投入,以现代机械代替人工投入,进一步提高系统的生产效率及加大对系统的经济开发利用。

本文所涉及的实验数据主要是通过农户调查和按一定比例估算获得,虽说数据能代表农户实际的生产情况,但由于不同农户个体之间的判断和记忆

差异,数据的准确性还不是很,从而导致整个研究结果的准确性还有待检验和考证。今后数据收集时,应选取更多数量的个体取其平均值,同时要组织当地的农技人员核对实地调查的数据,从而提高数据的真实可靠性。其次,本文只从能值和经济效益两个方面分析研究了临潼区常见的农户型“猪-沼-石榴”循环农业模式,而中国土地面积辽阔,农户型循环模式类型多种多样,分析和评价生态系统的方法体系繁多,其中以能量平衡分析法^[24]、生命周期评价法^[25]、循环经济指标体系法^[26]、经济学方法等方法为主^[27],且各有优缺点,故仅从这两个方面对农户型循环农业模式进行分析研究,并不能全面系统地分析农户型循环模式,今后应采用更多的分析评价体系,选取不同地区更多的农业生产模式进行综合对比分析,从而得到更全面准确的研究结果。

参考文献:

- [1] 王圣宏. 国内外循环农业研究与发展比较分析[J]. 辽宁城乡环境科技, 2010, 30(11): 15-17.
- [2] 高旺盛, 陈源泉, 梁 龙. 论发展循环农业的基本原理与技术体系[J]. 农业现代化研究, 2007, 28(6): 731-734.
- [3] 徐国伟, 黄淑玲, 袁新田, 等. 我国农业生态系统的能值分析研究[J]. 赤峰学院学报, 2011, (4): 162-165.
- [4] Odum H T. Environmental accounting. Energy and Environmental Decision Making[M]. New York: John Wiley and Sons, 1995: 104-311.
- [5] Jorge L Hau, Bhavik R. Bakshi Promise and problems of energy analysis[J]. Ecological Modelling, 2004, 178: 215-225.
- [6] 钟珍梅, 黄勤楼, 等. 以沼气为纽带的种养结合循环农业系统能值分析[J]. 农业工程学报, 2012, 14(28): 196-200.

- [2] 刘玉萍, 苏旭, 李建民, 等. 青海湖畔种典型盐生植物叶片超微结构研究[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2014, 48(1): 91-96.
- [3] 孟凡娟, 庞洪影, 王建中, 等. NaCl 和 Na₂SO₄ 胁迫下两种刺槐叶肉细胞叶绿体超微结构[J]. 生态学报, 2011, 31(3): 0734-0741.
- [4] Sudhir P, Murthy S D S. Effects of salt stress on basic processes of photosynthesis[J]. Photosynthetica, 2004, 42(4): 481-486.
- [5] 刘永康, 郑和平, 徐艳霞, 等. 冬小麦品种更替过程中旗叶结构与光合作用的关系研究[J]. 河南农业科学, 2013, 42(3): 10-14.
- [6] Penuelas J, Filella I, Llusà J, et al. Comparative field study of spring and summer leaf gas exchange and photobiology of the mediterranean trees quercus ilex and Phillyrea latifolia[J]. Journal of Experiment Botany, 1998, 49(319): 229-238.
- [7] 李峰, 谢永宏, 覃盈盈. 盐胁迫条件下湿地植物的适应策略[J]. 生态学杂志, 2009, 28(2): 314-321.
- [8] Grundmann O, Nakajima J, Seo S, et al. Anti-anxiety effects of Apocynum venetum L. in the elevated plus maze test[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2007, 110(3): 406-411.
- [9] 赵可夫, 李法曾, 樊守金, 等. 中国盐生植物[J]. 植物学通报, 1999, 16: 201-207.
- [10] 李建东, 草地学, 郑慧莹, 等. 松嫩平原盐碱化草地治理及其生物生态机理[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [11] 华春, 王仁雷. 盐胁迫对水稻叶片光合效率和叶绿体超微结构的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2004, 35(1): 27-31.
- [12] 孔令安, 郭洪海. 盐胁迫下杂交酸模超微结构的研究[J]. 草业学报, 2000, 9(2): 53-57.
- [13] Chatterton N J, Carlson G E, Hungerford W E. Effect of tillering and cool nights on photosynthesis and chloroplast starch in pangola[J]. Crop Science, 1972, 12(2): 206-208.
- [14] Yang Y, Jiang D A, Xu H X, et al. Cyclic electron flow around photosystem I is required for adaptation to salt stress in wild soybean species *Glycine cyrtoloba* ACC547[J]. Biologia plantarum, 2006, 50(4): 586-590.
- [15] Yang Y, Yan C Q, Cao B H, et al. Some photosynthetic responses to salinity resistance are transferred into the somatic hybrid descendants from the wild soybean *Glycine cyrtoloba* ACC547[J]. Physiologia Plantarum, 2007, 129(3): 658-669.
- [16] Lu C, Vonshak A. Effects of salinity stress on photosystem II function in cyanobacterial *Spirulina platensis* cells[J]. Physiologia plantarum, 2002, 114(3): 405-413.
- [17] Yang X, Lu C. Photosynthesis is improved by exogenous glycinebetaine in salt-stressed maize plants[J]. Physiologia plantarum, 2005, 124(3): 343-352.
- [18] 寇伟锋, 刘兆普, 陈铭达, 等. 不同浓度海水对油葵幼苗光合作用和叶绿素荧光特性的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26(1): 73-77.
- [19] 蔡海霞, 吴福忠, 杨万勤. 干旱胁迫对高山柳和沙棘幼苗光合生理特性的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(9): 2430-2436.

(上接第 204 页)

- [7] 周昱, 谢振华, 刘英苓. 户用“猪-沼-果”生态模式经济评价[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(4): 201-203.
- [8] 修金生, 吴顺意, 周伦江, 等. 福建省猪-沼-果(草、林、菜)生态养殖模式与应用[J]. 福建畜牧兽医, 2010, 32(5): 49-52.
- [9] 张鑫. “四位一体”农业生态系统能流与能值分析[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2007: 12-16.
- [10] 骆世明. 农业生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [11] Erdal Dagistan, Handan Akcaoz, Bekir Demirtas, et al. Energy usage and benefit - cost analysis of cotton production in Turkey[J]. African Journal of Agricultural Research, 2009, 4(7): 599-604.
- [12] 李连禄, 黄育珠, 韩纯儒. 农业生态系统工业能投的折能系数探讨[J]. 生态与农村环境学报, 1989, (4): 32-36.
- [13] 孟庆岩, 王兆骞, 姜曙千. 我国热带地区胶-茶-鸡农林复合系统能流分析[J]. 应用生态学报, 1999, 10(2): 172-174.
- [14] 高德明, 陈丽娟, 胡芬, 等. 晋东豫西旱农试验区农业生态系统能流特征[J]. 生态学报, 1997, 17(5): 529-536.
- [15] 蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳. 生态经济系统能值分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [16] 裴雪, 侯淑涛, 谢英楠, 等. 哈尔滨农业生态系统能值分析[J]. 水土保持研究, 2013, 20(1): 220-223.
- [17] 唐建荣. 生态经济学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [18] Odum E P. Population energy flow of three primary consumer components of old field ecosystem[J]. Ecology, 1962, (43): 88-96.
- [19] 姚玲, 黄民生, 李恒. 福建省循环经济发展的能值分析[J]. 再生资源与循环经济, 2010, (1): 19-24.
- [20] 张小洪, 蒋文举, 伍钧, 等. 改进的能值指标用于分析污水处理生态系统[J]. 资源科学, 2009, 31(2): 250-256.
- [21] 王闰平, 荣湘民. 山西省农业生态经济系统能值分析[J]. 应用生态学报, 2008, 19(10): 2259-2264.
- [22] 尹昌斌, 唐华俊, 周颖. 循环农业内涵、发展途径与政策建议[J]. 中国农业资源与区划, 2006, 27(1): 4-8.
- [23] 熊飞龙, 朱洪光, 石惠娟, 等. 关于农村沼气集中供气工程沼气价格分析[J]. 中国沼气, 2011, 29(4): 16-19.
- [24] 张继光, 申国明, 张忠锋, 等. 不同烤烟种植模式的物质流、能量流及价值流分析[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(3): 95-100.
- [25] 韩玉, 龙攀, 陈源泉, 等. 中国循环农业评价体系研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(9): 1039-1048.
- [26] 王静. 陕南地区农业循环经济测度指标体系及绩效评价研究[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(20): 5099-5103.
- [27] Wu Xihui, Wu Faqi, Tong Xiaogang, et al. Emergy-based sustainability assessment of an integrated production system of cattle, bio-gas, and greenhouse vegetables: Insight into the comprehensive utilization of wastes on a largescale farm in Northwest China[J]. Ecological engineering, 2013, 61(19): 335-344.